

A manipuláció mesterei

[baktérium](#), [biológia](#), [lepke](#), [mikroorganizmus](#), [mitokondriális DNS](#), [OTKA](#), [ökológia](#), [parazita](#)

Wolbachia-baktériumok és gazdáik

2015/01/30

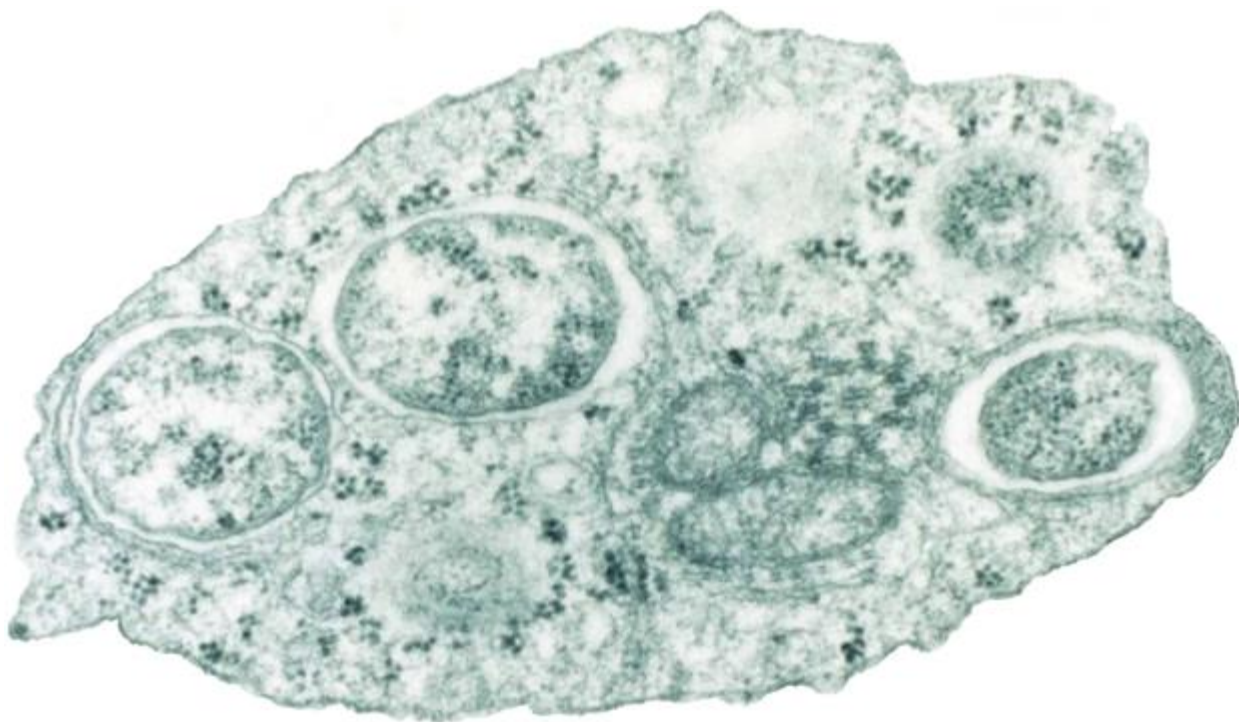
Születésünktől fogva mindannyiunkat manipulálnak, sőt mi magunk is állandóan igyekszünk saját előnyünkre befolyásolni embertársainkat. Ez az állandó igyekezet az emberi együttélés egy rendkívül fontos eleme, ugyanakkor a játszma jóval ősbíbb eredetű az emberiségnél, hiszen már a mikroorganizmusok szintjén is megjelenik.

A Wolbachia nemzetségbe tartozó baktériumok mesteri fokra fejlesztették manipulációs képességeiket. Valószínűleg ennek köszönhető, hogy ők a legelterjedtebb sejten belül élő baktériumok, melyek ma már gazdaszervezeteik nélkül életképtelenek. A különböző rovarfajok mintegy 65 százalékát fertőzik, de más ízeltlábúakban, illetve fonálférgekben is gyakran előfordulnak. Felfedezésük két amerikai kutató, Marshall Hertig és Samuel Wolbach nevéhez fűződik, akik dalos szúnyogok ivarszerveit tanulmányozva bukkantak rájuk.

Ezek a rendkívül érdekes élőlények a legutóbbi évtizedben igencsak felhívták magukra a figyelmet széles körű előfordulásuknak, illetve a gazdaszervezetekre gyakorolt változatos hatásuknak köszönhetően, amely a reprodukzív manipulációtól kezdve a gazdával kölcsönösen előnyös kapcsolat kialakításáig terjed. Ráadásul a legújabb kutatások szerint jelentős szerepük lehet gazdaszervezeteik evolúciójában is. Mindezek mellett a különböző betegségeket terjesztő vagy éppen a kártevő ízeltlábúak elleni védekezés terén is komoly potenciál rejlik bennük.

Ivararány-eltolódás

A Wolbachia képesek manipulálni gazdaszervezeteik szaporodási rendszerét, az eltérő törzsek ugyanakkor eltérő hatással lehetnek a különböző gazdaszervezetekre. Valamennyi hatás a nőstény utódok számának maximalizálására irányul, hiszen leggyakrabban az anyai leszármazási vonalak útján adódnak tovább egyik generációból a másikba. Ilyen hatások a citoplazmás inkompatibilitás, a „male-killing”, a feminizáció és a szűznemzés-indukció, s valamennyien a reprodukzív parazitizmus kategóriájába tartoznak.



*Wolbachia*ák egy rovarsejtben

A legelterjedtebb közülük a citoplazmás inkompatibilitás; ebben az esetben a fertőzött hímek nem képesek megtermékenyíteni a nem fertőzött vagy épp egy másik *Wolbachia*-törzsszel fertőzött nőstényeket. A jelenség hátterében álló molekuláris mechanizmust részleteiben ugyan nem ismerjük, de több gazdaszervezet esetében is megfigyelték, hogy az embrionális fejlődés korai szakaszában zajló sejtosztódások során az anyai és apai eredetű kromoszómák fejlődése egymáshoz képest időben eltolódik, így az osztódási folyamat nem tud rendeltetésszerűen lezajlani.

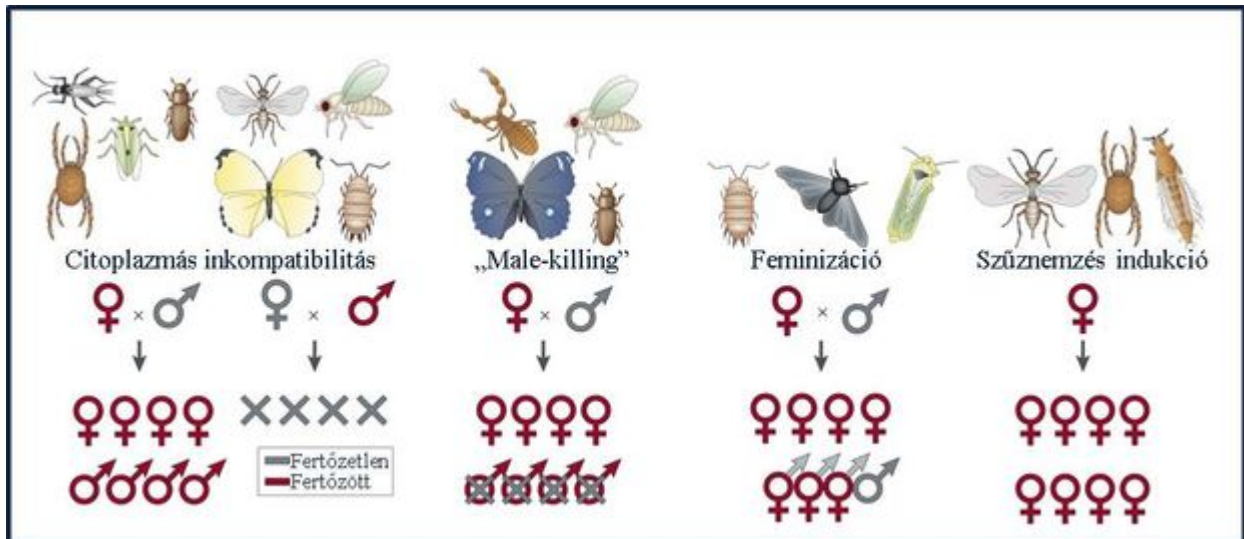
A „male-killing” során a *Wolbachia*ák elpusztítják a hím utódokat, elsősorban az embrionális fejlődés időszakában, aminek köszönhetően a túlélő nőstény utódoknak több táplálék jut. A jelenség ivararány-eltolódáshoz vezet, akár csak a feminizáció, vagyis a genetikailag hím utódok funkcionális nőstényekké alakítása. Mindezt az ászkarákokban a hímek kialakulásáért felelős androgén mirigy hormontermelésének befolyásolásán át valósítják meg, míg a lepkékben a kromoszómák szintjén avatkoznak bele az ivarmeghatározási rendszer működésébe.

A szűznemzés az ivaros nőstények öntermékenyítő szaporodását jelenti. A *Wolbachia*ák az olyan fajok nőstényeit képesek szűznemzéssel szaporodásra kényszeríteni, amelyekre a haplodiploid öröklésmenet jellemző, ilyenek például a társas darazsak. E fajok esetében a megtermékenyítetlen, haploid petékből hímek, a megtermékenyített, diploid petékből pedig nőstények jönnek létre. *Wolbachia*ák hatására azonban a megtermékenyítetlen petékből is nőstények alakulnak ki.

Kibékíthetetlen ellentét

A *Wolbachia*ák által okozott citoplazmás inkompatibilitás az anyai ágon öröklődő genetikai elemek – így a mitokondriális DNS (mtDNS) – adott típusának elterjedését okozza. Ha egy fertőzött nőstény bevándorol egy fertőzésmentes populációba, és ott szaporodik, akkor az

utódai nagy valószínűséggel mind fertőzöttek lesznek, az általa hordozott mtDNS-variáns pedig egyre inkább elterjedtté válik, mivel a fertőzött hím utódok a citoplazmás inkompatibilitás révén biztosítják, hogy a populációban jelen levő többi, fertőzésmentes nőtény ne tudjon szaporodni. Ennek következtében tehát a mtDNS egyetlen variánsa dúsul fel a populációban, vagyis az adott populáció mtDNS-ének variabilitása jelentősen lecsökken, szélsőséges esetekben lenullázódik.



A Wolbachia-k reprodukciós parazitizmusának formái Werren és munkatársai (2008) nyomán

A mtDNS szerkezetére a Wolbachia-k kétféle hatást fejthetnek ki. Amennyiben különböző, egymással hibridizáló fajok hordozzák ugyanazt a Wolbachia-törzset, akkor előfordulhat, hogy a két faj mtDNS-e nem fog különbözni egymástól. Ez komoly problémát jelent a molekuláris alapon történő fajmeghatározás során, amelyet éppen a mtDNS egy speciális szakasza alapján lehet elvégezni. Ez a DNS-szakasz gyakorlatilag egyfajta vonalkód (barkód), amelynek segítségével a fajokat oly módon lehet beazonosítani, mint ahogyan a boltokban a pénztárgép speciális vonalkódok alapján ismeri fel az egyes termékeket.

A Wolbachia-knak ez a mtDNS-variánsokat homogenizáló hatása figyelhető meg két, ugyanazt a baktériumtörzset hordozó afrikai lepkefaj esetében. Jóllehet ezek a fajok egyértelműen elkülöníthetők morfológiailag és a sejtmagjuk DNS-e alapján, mégis egységesnek tűnnek a barkódjuk, vagyis a mtDNS-ük szerint. Ezt nevezik „egy barkód – két faj” jelenségnek.

Ugyanakkor ha egy fajon belül a különböző populációk különböző törzsekkel fertőzöttek, akkor az jelentősen megnövelheti a populációk között a mtDNS variabilitását. Azaz a Wolbachia-k azt is előidézhetik, hogy egy faj látszólag több fajnak tűnik azáltal, hogy az egyes populációk különböző Wolbachia-törzseket tartanak fenn, elvezetve a „két barkód – egy faj jelenséghez”. A mocsári szénalepke észak-amerikai populációiban például két rendkívül eltérő mtDNS-változat van jelen, mindkettő speciális Wolbachia-fertőzéssel párosulva. Ellenben sem morfológiai jellemzőik, sem pedig a sejtmag DNS szekvenciái alapján nem lehet a két különböző mtDNS-típusú csoportot elkülöníteni.

Cikkünk főszereplői ugyanakkor természetvédelmi szempontból is rendkívül jelentősek a citoplazmás inkompatibilitás miatt. A boglárkalepkék egy észak-amerikai fajával kapcsolatos kutatás mutat rá arra, hogy a Wolbachia-fertőzések feltérképezése kulcsfontosságú a visszatelepítési programok megtervezése során. Abban az esetben ugyanis, ha nem megfelelően megválasztott (például nem ugyanazzal a törzzsel fertőzött) forráspopulációból telepítünk be egyedeket a megmentésre szoruló célpopulációba, akkor a citoplazmás inkompatibilitáson keresztül akár el is pusztíthatjuk azt.

Az ember szolgálatában

Az ízeltlábúakkal ellentétben a fonalférgekben nem reproduktív parazitaként vannak jelen, hanem endoszimbiontaként. Ha antibiotikumok segítségével kiirtjuk őket a férgekben, akkor azok életképtelenné vagy sterillé válnak. A fonalférgek egy része más állatokban, illetve emberekben élőködik. Olyan súlyos betegségek kórokozóit találhatjuk meg köztük, mint a filariázis vagy a folyami vakság. Mint kiderült, a gazda férgekkel szembeni immunválaszát sokkal inkább a bennük élő Wolbachia, semmint a parazita férgek fehérjéi váltják ki. Éppen ezért a legújabb gyógymódok nem a férgekre, hanem a bennük élő Wolbachiaakra irányulnak, hiszen úgy tűnik, hogy a férgek léte egyértelműen függ a baktériumok jelenlététől.



Hangyaboglárkafajok. Balról jobbra: nagypettyes hangyaboglárka korai és késői rajzású formája, szürkés hangyaboglárka két különböző tápnövényre petező alakja, vérfű hangyaboglárka, zanótboglárka.

(BERECZKI JUDIT ÉS TÓTH JÁNOS PÁL FOTÓI)

A Wolbachia-kban nagy potenciál rejlik a különböző betegségeket terjesztő rovarokkal szembeni védekezés szempontjából is, például a szúnyogok vagy legyek által terjesztett kórok esetében, mint amilyen a vírus okozta dengue-láz. Ez a betegség akár életveszélyessé is válhat, védőoltás azonban nem létezik ellene.

Ezért is vált fontossá különböző alternatív védekezési lehetőségek kidolgozása, amelyekben a Wolbachia-kat három különböző módon is használják. Egyrészt fertőzött hímeket engednek szabadon, amelyek a vad típusú, baktériummentes nőstényekkel párzanak, de a citoplazmás inkompatibilitás miatt ezekből a párosodásokból nem keletkeznek utódok. A fertőzött hímek ugyanakkor a többi hímétől elveszik a párosodás lehetőségét, így populációs szinten meggátolják az életképes utódok létrejöttét. Másrészt fertőzött nőstényeket engednek szabadon, amelyek a baktériummentes hímekkel párosodva fertőzött utódokat hoznak létre. Ez utóbbiak ellenállókká válnak a patogénnel szemben, és a citoplazmás inkompatibilitás miatt egyre nagyobb számban lesznek jelen az állományban. Harmadrészt az élettartamot lerövidítő törzsekkel fertőzött nőstényeket eresztenek szabadon, amelyeknek az utódai is mind hordozni fogják a fertőzést, így valamennyien csökkent élettartamúak lesznek. Viszont csakis azok a nőstények terjesztik a betegséget, amelyek már több áldozat vérére is szívták, amire az említett rövidebb élethossz miatt kisebb lesz az esély.

Idegenek a fészekben

Láthattuk, a Wolbachiaák számos szempontból rendkívüli jelentőségűek, ám sok tekintetben hiányosak a velük kapcsolatos ismereteink. Éppen emiatt kezdtük el vizsgálni a fertőzések gyakoriságát és hatásait egy különleges életmódot folytató, Magyarországon is előforduló lepkecsoport, a hangyaboglárkák (*Maculinea* spp.) esetében. Nőtényeik specifikus tápnövényre rakják le petéiket, majd a kikelő lárvák kezdetben a tápnövény éretlen magvaival táplálkoznak. Ezt követően leereszkednek a talajra, ahol fullánkös vöröshangyák dolgozói adoptálják őket, így a továbbiakban azok fészkeiben fejlődnek.

A „kakukk-típusú” hangyaboglárkák hernyói a hangyalárvák viselkedését, illetve feromonjait utánózva a dolgozókkal tápláltatják magukat. A ragadozó típusú hangyaboglárkák ugyanakkor a fészekbe kerülve magukkal a hangyalárvákkal táplálkoznak. A hernyók bábozódása szintén a fészekben zajlik, majd a kikelt, de a szárnyukat még fel nem pumpált lepkék a fészek nyílásán át távoznak.

A nagypettyes hangyaboglárka esetében felmerül a Wolbachiaák által okozott citoplazmás inkompatibilitás lehetősége. Ennek a fajnak ugyanis két eltérő formája fordul elő a Kárpát-medencében, amelyek rajzási periódusa időben eltolódik egymáshoz képest. Az elmúlt évek szisztematikus kutatásainak köszönhetően kiderült, hogy a két forma gyakran egy élőhelyen belül is megtalálható. Azt is tudjuk, hogy a tavaszi és a nyári alak a mtDNA-ük alapján nem különül el egymástól, azonban morfológiailag jelentős különbségek vannak köztük. Ugyanakkor valamennyi vizsgált egyed Wolbachiaával fertőzöttnek bizonyult, így feltételezhető, hogy miattuk egységes a két forma mtDNA-e (lásd az „egy bárkód – két faj” jelenségnél leírtakat). Éppen ezért molekuláris módszerek segítségével azt vizsgáljuk, hogy a két eltérő forma egyazon törzssel fertőzött-e.

A hangyaboglárkák egész Európában veszélyeztetettek, illetve védettek, ami nem csupán speciális életmódjuknak, hanem élőhelyeik beszűkülésének és feldarabolódásának is köszönhető. Esetükben többször végeztek már visszatelepítést, ezért nagyon fontos ismerni a bennük élő Wolbachia-törzseket, nehogy a citoplazmás inkompatibilitáson keresztül kiirtsuk a megmentendő populációkat. Éppen emiatt kezdtük el részletesen feltérképezni az egyes *Maculinea*-fajokban megtalálható törzseket.

Vizsgálataink ugyanakkor a Wolbachiaáknak nemcsak a célfajokban előidézett hatásait hivatottak felkutatni, hanem e baktériumokat modellszervezetként használva segíthetnek a mikrobiális szimbionták a gazdáikra gyakorolt evolúciós és ökológiai hatásaik megértésében.

BERECZKI JUDIT